

Estudio de cinética de fermentación alcohólica de cacao en cajón tipo madera.**Study of kinetics of alcoholic fermentation of cacao in a wooden box.**

María Eugenia García² ; Rommel Aaron Pazmiño Vallejo¹ ; Dayana Belén Troya Carrera¹ , Juan

Gaibor Chávez¹ *

1 Carrera de Agroindustrias; Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y de Ambiente;

Universidad Estatal de Bolívar – Ecuador

2 Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Universidad Técnica de Ambato –

Ecuador

Available from: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.04.6>

RESUMEN

La investigación se enfocó en valorar la influencia de fermentadores en cajones de madera: Guayacán (*Tabebuia Chrysantha*), Laurel (*Laurus nobilis*), y Caña (*Guadua angustifolia*) sobre la calidad fisicoquímicas de las almendras de cacao (*Theobroma cacao L.*). Se aplicó un diseño AXB con arreglo factorial (2x3) y se determinó el porcentaje de fermentación en los tres tipos de cajas visualizando el 60 % mínimo de almendras bien fermentadas, granos violetas 21 %, granos pizarrosos superó el 12 %, lograr las mejores características organolépticas en el grano de cacao resultante, implica un adecuado tratamiento, mejores prácticas aplicadas y la incorporación de un tipo de fermentador que garantice el éxito del proceso.

Cabe señalar que el primer proceso se ve afectado por varios factores tales como: tipo de madera a utilizar para la construcción de los cajones, dimensiones de estos, el tamaño de los orificios que permiten la evacuación del mucilago y las remociones que se le dé a la masa durante el proceso. El proceso fermentativo se convierte en el principal proceso del beneficio pues los cambios que se originan son fundamentales para que aparezcan los agentes precursores del aroma y sabor típicos del cacao de calidad. Es por eso por lo que se ha utilizado un modelo matemático para poder determinar datos importantes en la fermentación alcohólica que se realiza en las cajas. Dicho de esta manera se aplica una modelación matemática para la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao L.*), para la cinética correspondiente, el comportamiento de la biomasa con el consumo de sustrato y el comportamiento del sustrato y Crecimiento microbiano por medio de los modelos matemáticos de Monod y de Andrews y Levenspiel.

Palabras clave: Crecimiento Microbiano, Fermentación Alcohólica, Mucilago, Madera, Matemáticas Modelos.

Abstract

The research focused on assessing the influence of fermenters in wooden boxes: Guayacán (*Tabebuia Chrysantha*), Laurel (*Laurus nobilis*), and Cane (*Guadua angustifolia*) on the physical-chemical quality of cocoa kernels (*Theobroma cacao L.*). An AXB design with the factorial arrangement (2x3) was applied, and

the percentage of fermentation in the three types of boxes was determined, visualizing the minimum 60% of well-fermented almonds, violet grains at 21%, slate grains exceeding 12%, achieving the best characteristics. Organoleptic characteristics in the resulting cocoa bean imply adequate treatment, best-applied practices, and the incorporation of a type of fermenter that guarantees the success of the process.

It should be noted that the first process is affected by several factors, such as the type of wood to be used to construct the drawers, their dimensions, the size of the holes that allow the evacuation of the mucilage, and the removals that are given. To the dough during the process. The fermentation process becomes the primary benefit since the changes are essential for the precursor agents of the typical aroma and flavor of quality cocoa to appear. That is why a mathematical model has been used to determine crucial data in the alcoholic fermentation in the boxes. In this way, mathematical modeling is applied for the fermentation of Cocoa (*Theobroma cacao L.*) for the corresponding kinetics, the biomass's behavior with the substrate's consumption and the substrate's behavior and microbial growth through mathematical models of Monod, Andrews and Levenspiel.

Keywords: Microbial Growth, Alcoholic Fermentation, Mucilage, Wood.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador, está situado entre los principales productores a nivel mundial de cacao¹; se produce en 16 de las 24 provincias en las cuales está dividido, con 527327 ha cosechadas². Por tanto, se convierte en una materia prima con mucho potencial. Una de las operaciones primordiales para alcanzar la calidad del chocolate es la fermentación³, se produce un proceso mayoritariamente anaeróbico, en el cual las levaduras anaeróbicas facultativas producen etanol a partir de la glucosa presente en la pulpa de los granos de cacao, posterior bajo condiciones semianaeróbicas que siguen al crecimiento inicial de la levadura favorecen las bacterias ácido lácticas (BAL) microaerófilas que convierten la glucosa, la fructosa y el ácido cítrico principalmente en ácido láctico, ácido acético y/o manitol. Cuando la mayor parte de la pulpa ha sido degradada debido a la acción pectinolítica. Por la actividad de las levaduras, se dispone de oxígeno y se desarrollan las bacterias del ácido acético las cuales son estrictamente aerobias, produciendo ácido acético a partir de etanol en una reacción de oxidación exotérmica, lo que hace que la temperatura de la masa de frijol aumente a 50 °C o más y convierta el lactato en acetoína y componentes básicos de biomasa⁴.

⁵Indican que la fermentación del cacao es un paso crucial en la producción de chocolate de alta calidad debido a que durante la fase de fermentación ocurren una serie de reacciones bioquímicas que se producen en los granos, necesarias para la inducción a las características de los productos de cacao⁶ señalan que las prácticas mal realizadas en el proceso de fermentación de cacao por lo general bajan la calidad y dan paso a enfermedades. En Ecuador el proceso de fermentación se realiza en varios medios como, tinas de plástico, saquillos, fundas y un mayor porcentaje de granos de cacao se fermentan en cajas de madera. Además, se determina que las cajas de madera presentaban un menor porcentaje de granos de cacao violetas en

comparación con las cajas plásticas, producto del resultado de una fermentación incompleta⁷. Mientras las almendras en buen estado no muestran hinchazón y su apariencia interna es compacta, lo que contribuye al desarrollo de un sabor astringente y ácido⁸. Para lograr las mejores características organolépticas en el grano de cacao resultante, implica brindar un adecuado tratamiento, mejores prácticas aplicadas y la incorporación de un tipo de fermentador que garantice el éxito del proceso⁹. Las investigaciones realizadas en los procesos en la cual se ha visualizado la transformación del cacao, son diversas y todas tienen la finalidad de mejorar el proceso de fermentación del cacao en sus atributos sensoriales, para así poder facilitar los procesos de transformación dentro de los sistemas de producción industrial, artesanal e incluso en lo gastronómico¹⁰. Además,¹¹ mencionan que una forma de lograr la optimización de los sistemas de fermentación es el uso de prototipos de fermentadores de diversos materiales, formas e implementación del uso tecnológico, sobre las características fisicoquímicas que se presentan después de la fermentación y teniendo de respaldo la evaluación de los perfiles sensoriales. Los procesos de fermentación y la deficiente adecuación tecnológica que se existe al realizar la operación, son los que mayor problema generan para obtener la calidad organoléptica sensorial adecuada¹². Cabe indicar que este proceso tiene una gran relevancia industrial, los intentos de modelado existentes se centran en pasos específicos posteriores a la fermentación, como la cinética de secado¹³.

En la presente investigación se ha realizado una revisión bibliográfica exhaustiva de las mejores prácticas para la construcción y uso de prototipos de fermentación, diseñando una caja tipo de madera utilizada para el proceso de fermentación de cacao (*Theobroma cacao L.*), se realiza el estudio de cinética de la fermentación alcohólica de cacao y se obtiene biomasa, priorizando como propósito de esta investigación, producir biomasa (*Saccharomyces Sereviciae*), el objetivo de optimizar el proceso y obtener un mayor rendimiento de bioetanol a partir de estos materiales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase experimental de la investigación se realizó en el centro de Acopio perteneciente a la Unión de Organizaciones de Participación Social por la Justicia del Cantón las Naves, cuya situación geográfica 01°16'0" latitud oeste, con una temperatura máxima de 32 °C y una humedad relativa de 85%.

El cacao fue obtenido en el cantón las naves (30kg de masa fresca de cacao nacional).

Se trabajó con cajas de madera (laurel, guayacán y caña), por un lado, cuadradas que tuvieron las siguientes dimensiones: 45 cm de largo, 45 cm de ancho y 45 cm de alto y, rectangulares de dimensiones: 60 cm de largo, 50 cm de ancho y 30 cm de alto, tomado del estudio de¹⁴. La investigación fue de carácter exploratoria, descriptiva y experimental, puesto a que no se ha encontrado datos sobre la utilización de maderas (laurel, guayacán y caña) en la fermentación de cacao (*Theobroma cacao L.*).

Se empleó un diseño experimental de dos factores AxB con un arreglo factorial (2x3), tomando como factor A al diseño de caja (cuadrada y rectangular) y factor B el tipo de madera (laurel, guayacán y caña), dando un total 6 tratamientos y realizando 3 repeticiones con un total de 18 unidades experimentales; para la comparación de la media de los tratamientos se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$).

Análisis Proximal

Se caracterizó la materia prima cacao (*Theobroma cacao L.*) empezando por la determinación de la humedad. Aplicando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$\%H$: porcentaje de humedad expresada en fracción de masa.

m_1 : masa del cristalizador sin tapa tarado en gramos.

m_2 : masa del cristalizador tarado sin tapa más muestra en gramos.

m_3 : masa del cristalizador tarado sin tapa más muestra desecada en gramos¹⁵.

También se realizó un análisis de ceniza que representa la parte inorgánica residual después de que el material orgánico se ha quemado a altas temperaturas. Durante el proceso de incineración, los componentes orgánicos se descomponen y se queman, dejando atrás los minerales inorgánicos en forma de ceniza. Los minerales presentes en la ceniza incluyen calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio y otros elementos traza.

Por lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$\%C = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \times \frac{100}{100 - H} \quad (2)$$

Donde:

$\%C$: Contenido de Cenizas en porcentaje de masa.

m_1 : masa del crisol vacío (g)

m_2 : masa del crisol con la muestra (g)

m_3 : masa del crisol más la ceniza (g)

H : porcentaje de humedad en la muestra.

Fermentación

La fermentación alcohólica se realizó en un biorreactor homogéneo de tipo batch (cajones de madera). Teniendo en cuenta que para la fermentación de cacao existen algunas sucesiones de consorcios de

microorganismos, para el experimento relacionado a la fase alcohólica, empleamos levaduras de tipo *Saccharomyces Cerevisiae* Que entran en contacto con la fuente de azúcares de cacao y empieza el proceso de fermentación en donde se descomponen en alcohol etílico y dióxido de carbono, liberando así energía, de acuerdo a la investigación de¹⁶.

Cuantificación de la glucosa

Para la cuantificación de la glucosa se realizó mediante un espectrofotómetro infrarrojo BOECO, realizando previamente las curvas de calibración (método NIRS), esta técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano ha emergido como un enfoque valioso y eficaz en la industria alimentaria, como un método analítico que ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia y precisión en la determinación de compuestos químicos en productos alimentarios¹⁷

Cuantificación de la biomasa

La cuantificación de biomasa se realizó mediante el método de peso seco, para lo cual se tomaron muestras y se colocaron en una estufa de la marca Kalstein a una temperatura constante de 105 °C hasta alcanzar un peso estable¹⁸.

Cuantificación del bioetanol

La cuantificación del bioetanol se realizó mediante el método de “Winnick o microdifusión”, para lo cual, se centrifugaron las muestras durante 15 minutos a 4000 rpm, posterior se extrajeron 1ml del líquido sobrenadante, luego, se diluyó con agua destilada hasta un volumen final de 100 ml¹⁹.

Modelación matemática

Para la cinética correspondiente a la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao L.*), se planteó usar los siguientes modelos²⁰.

Modelo de Monod

Este modelo estudia el efecto de la concentración de sustrato sobre la rapidez de crecimiento, donde la velocidad específica de crecimiento de las células durante las fases de crecimiento y desaceleración depende de la concentración de nutrientes existentes en el medio ²¹.

$$\mu = \mu_{max}(S/(Ks + S)) \quad (3)$$

Donde:

μ : velocidad específica de crecimiento microbiano

μ_{max} : velocidad máxima específica de crecimiento

S : concentración de sustrato disponible

K_S : constante de saturación de sustrato.

Para modelar la producción de biomasa y bioetanol durante el proceso de fermentación se emplea la Ecuación Logística integrada, durante las fases exponencial y estacionaria del crecimiento de la levadura ²².

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{max} \left(1 - \frac{X}{X_{max}}\right) X \quad (4)$$

$$X = \frac{X_0 \exp(\mu_{max} t)}{1 - \left[\left(\frac{X_0}{X_{max}}\right) (1 - \exp(\mu_{max} t))\right]} \quad (5)$$

Donde:

X : Modelo de la relación de la biomasa

X_0 : Concentración inicial de masa

X_{max} : Concentración celular máxima

μ_{max} : Taza de crecimiento específica máxima

t : Intervalo de tiempo.

Para determinar parámetros cinéticos necesarios para la modelación se empleó, el modelo de Andrews y Levenspiel el cual considera el sustrato y producto; este modelo ha sido ampliamente utilizado para describir el comportamiento dinámico de la fermentación alcohólica ²³.

$$\mu = \mu_{max} * \frac{C_S}{K_S + C_S + \frac{C_S^2}{K_{IS}}} * \left(1 - \frac{C_E}{C_{E_{max}}^*}\right)^n \quad (6)$$

Donde:

K_{IS} : Constante de inhibición del sustrato

$C_{E_{max}}^*$: concentración máxima de etanol a la que se detiene el crecimiento celular

C_S : Concentración del sustrato limitante

μ_{max} : velocidad específica máxima de crecimiento celular

K_S : Constante de saturación

n : Constante adimensional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo	Biomasa (x)	Concentración de Sustrato (s)	Velocidad de Crecimiento (μ)	Consumo de sustrato (qs)
0	0,05	20	0,192307692	0,404615385
1	0,06060217	19,9797692	0,192300203	0,404600406
2	0,07345191	19,9552496	0,192291107	0,404582214
3	0,08902543	19,9255322	0,192280054	0,404560107
4	0,1078997	19,8895161	0,192266615	0,404533229
5	0,13077374	19,8458671	0,192250265	0,40450053
6	0,15849435	19,792969	0,192230358	0,404460716
7	0,19208717	19,7288643	0,192206096	0,404412192
8	0,23279434	19,6511819	0,192176491	0,404352983
9	0,28211982	19,5570508	0,192140315	0,404280631
10	0,34188424	19,4429952	0,192096031	0,404192063
11	0,41429084	19,3048083	0,192041705	0,40408341
12	0,50200493	19,1374003	0,191974881	0,403949763
13	0,60824929	18,9346155	0,191892419	0,403784837
14	0,73691845	18,6890137	0,191790246	0,403580493
15	0,89271509	18,3916078	0,191663023	0,403326045
16	1,08131212	18,0315525	0,191503621	0,403007243
17	1,30954382	17,5957759	0,191302351	0,402604702
18	1,58562904	17,0685474	0,191045719	0,402091437
19	1,91942741	16,4309795	0,190714399	0,401428798
20	2,32272559	15,6604661	0,190279741	0,400559481
21	2,80954081	14,7300763	0,189697411	0,399394821
22	3,39640823	13,6079603	0,188895028	0,397790055
23	4,10256955	12,2569029	0,187745945	0,395491891
24	4,94986074	10,6343699	0,1860071	0,392014199
25	5,96176478	8,69395419	0,18314717	0,386294339
26	7,16002671	6,39095821	0,177749836	0,375499672
27	8,55284133	3,70237053	0,164463165	0,348926329
28	10,0817485	0,718059	0,094602252	0,209204503

Tabla 1. Tabla de datos obtenidos experimentalmente y adaptados a los modelos matemáticos de Monod y la ecuación logística integrada

En la tabla 1 se reportan los datos experimentales, a partir de los cuales se adaptan a los modelos matemáticos de Monod y la ecuación logística integrada para continuar con el proceso de modelamiento. El tiempo como variable independiente corresponde a las horas donde se midieron las variables como: biomasa por el método de peso en seco, la concentración de sustrato disponible, la velocidad de crecimiento que representa la primera derivada de la biomasa respecto al tiempo y, consumo de sustrato.

Parámetros	Resultado	Unidad
μ_{max}	0,2996	h^{-1}
q_{max}	1	g/(gh)
K_S	0,8	g/L
K_{sp}	2,2	g/L
K_{IS}	400	g/L
Y_{XS}	0,5	g/g
Y_{PS}	0,2999	g/g
m	0,02	h^{-1}
$P_{X max}$	18,9683	g/L
α	0,1742	g/L
β	2,255	g/L

Tabla 2. Parámetros cinéticos obtenidos con el modelo de Andrews y Levenspiel

En la tabla 2 se reportan cada uno de los parámetros cinéticos obtenidos con el modelo de Andrews y Levenspiel. Mediante el cual se determinó que el tiempo ideal para la producción de biomasa y etanol fue de 12 horas, y una concentración de biomasa de 0,50200493 g/L. Durante este tiempo, se observó que la velocidad máxima de producción de biomasa alcanzó su valor máximo cuando se obtuvo la concentración más alta de levaduras en la fermentación.

La velocidad específica de crecimiento celular (μ) en la fermentación utilizando el mucílago de cacao fue de 0,18624349 h^{-1} . Un resultado similar (0,18 h^{-1}) fue informado por²⁴, aunque existió una variación casi imperceptible debido a las diferencias en la metodología utilizada en ambos estudios.

El modelo de Monod y de la Ecuación Logística integrada, tuvieron $R^2 = 0,96$, que indica el éxito del ajuste al modelo matemático, como se puede observar en la figura 1.

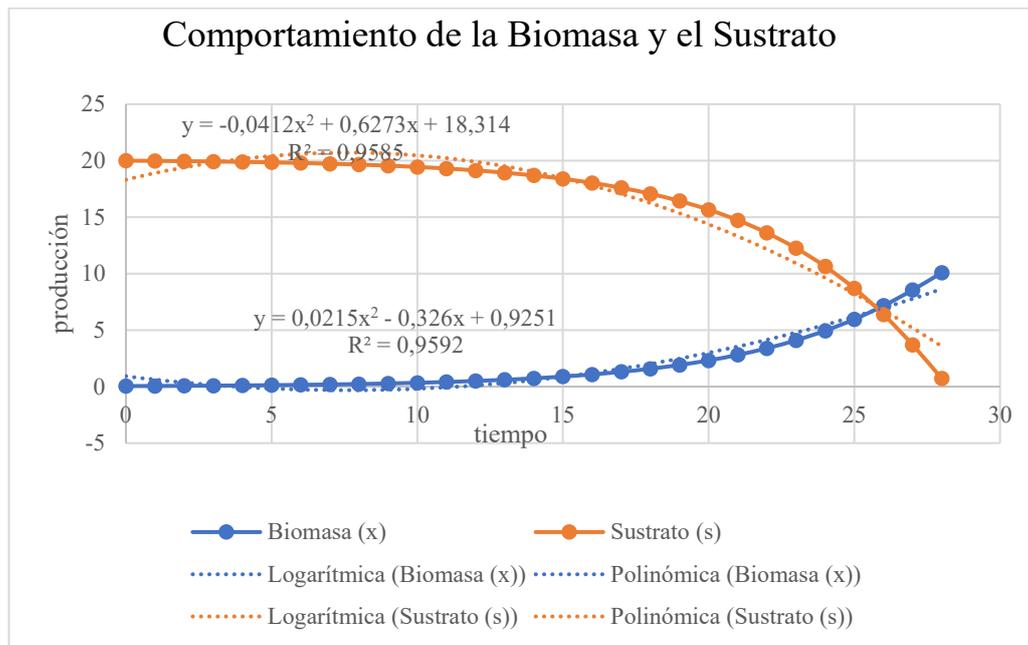


Figura 1. Cinética de crecimiento de biomasa y consumo de sustrato ajustado al Modelo de Monod

De la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0,05$) para el diseño experimental propuesto, donde se trabajaron dos factores, para evaluar la influencia del diseño de la caja y el tipo de madera empleado, permitió identificar el porcentaje de almendras bien fermentadas, dando como resultado una mejor fermentación de la almendra de cacao en las cajas de madera cuadradas, mientras que los tres tipos de madera son adecuadas para garantizar que el porcentaje granos violetas cumplan con lo que establece la norma; NTE INEN 176:2006 Cuarta Revisión²⁵. En cuanto al porcentaje de granos pizarrosos se detecta que supera el rango establecido de 12 máximo, en las cajas de las maderas de Guayacán y en Caña a diferencia de Laurel siendo el único que mantiene al cacao nacional en los parámetros establecidos.

Según Wakao, citado en ²⁶, la composición química de los granos de cacao fermentado depende de varios factores entre los que se puede citar: Tipo de cacao, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado y además el subsiguiente procesamiento de los granos (tostado). En el estudio realizado se detalla que los índices físicos de calidad de los granos secos se relacionan con el grado de madurez de las almendras, es decir, mazorcas que no están completamente maduras dan origen a granos insuficientemente fermentados, violetas y pizarrosos.

CONCLUSIONES

El análisis y modelamiento matemático de la fermentación es muy amplio en relación a otras fermentaciones ya que comprende algunas fases, consorcios de microorganismos y compuestos resultantes, por eso resulta útil enfocarse en una fase. El mucílago de cacao nacional, que es un subproducto generado por la industria en expansión del cacao, tiene un enorme potencial como materia prima para la obtención de alcohol. Debido a su abundancia en Ecuador y a su contenido de azúcares fermentables, este residuo se presenta como una fuente prometedora para la producción de alcohol.

De acuerdo al análisis de la variable humedad, no hay diferencia estadísticamente entre tratamientos por lo tanto todos los tratamientos son estadísticamente iguales. A su vez los resultados del análisis de la variable temperatura, se establece el mejor tratamiento corresponde del diseño de caja cuadrada de madera de laurel. El tipo de madera en el que se obtuvo un proceso de fermentación adecuado fue el laurel, en este los cotiledones presentan una coloración marrón o marrón oscuro, de aspecto quebradizo, con estrías bien abiertas.

Para próximas investigaciones se recomienda analizar los compuestos naturales de la madera utilizada en la fermentación de cacao, antes, durante y después de hacer uso como cajones fermentadores.

REFERENCIAS

- 1 García A, Pico B, Jaimez R. La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA* 2021;4:152–72. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>.
- 2 Instituto Nacional de Estadística y Censos. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Metodología 2021. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Metodologia%20ESPAC%202020.pdf (accessed September 30, 2023).
- 3 Pereira GV de M, Miguel MG da CP, Ramos CL, Schwan RF. Microbiological and Physicochemical Characterization of Small-Scale Cocoa Fermentations and Screening of Yeast and Bacterial Strains To Develop a Defined Starter Culture. *Appl Environ Microbiol* 2012;78:5395–405. <https://doi.org/10.1128/AEM.01144-12>.
- 4 Romanens E, Näf R, Lobmaier T, Meile L, Miescher Schwenninger S. A lab-scale model system for cocoa bean fermentation, 2016.
- 5 Toapanta MGC, Pilay GKM, Paula GTS, Cano HAM. Métodos de fermentación en el cacao ccn-51 con norma inen 176 en la parroquia Guasaganda. *Polo Del Conocimiento* 2023;8:613–33. <https://doi.org/10.23857/PC.V8I6.5702>.
- 6 Plaza AM, Martínez Carriel T, Ibarra EC, Bustamante WB, Baque CS. Fermentation of cocoa CCN-51, on the basis of three methods, in different times. *Journal of Asia Pacific Studies* 2019;5:394–410.

- 7 Alvarez Fernández CO, Liconte Salgado ND, Pérez Silva EE, Lares Amaíz M del C, Perozo González JG. REVISIÓN SOBRE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y SENSORIALES COMO INDICADORES DE LA CALIDAD COMERCIAL DEL CACAO. *Petroglifos* 2022;5:12–25.
- 8 Bravo Franco KJ, Tuárez García DA. Micro fermentación de cacao (*Theobroma cacao L.*) en cajas de madera no convencionales: Impacto en la calidad del licor. *Quevedo : Uteq*; 2023.
- 9 Rios-Jara J, Lévano-Rodríguez D. Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao L.*). *Revista Agrotecnologica Amazonica* 2022;2:e281–e281. <https://doi.org/10.51252/RAA.V2I1.281>.
- 10 Brunetto M del R, Bernardi MAG de, Contreras WJO, Roa S del SC, Cayama YJD, Montilla CDA, et al. RP-HPLC-DAD determination of free amino acids in cocoa samples during fermentation and roasting. *Revista Colombiana de Química* 2020;49:11–9. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.77811>.
- 11 Salous A El, Angulo-González A, Flores LS. Acceleration of cocoa fermentation through the action of bacteria (*Acetobacter aceti*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación* 2019;3:1–20. <https://doi.org/10.31876/ER.V3I28.572>.
- 12 Amable C, Torres V, Lisseth G, Flores L, Morales Rodríguez W, Chang JV, et al. Perfil sensorial de genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la parroquia Valle Hermoso-Ecuador. *Revista ESPAMCIENCIA*, ISSN-e 1390-8103, Vol 9, N° 2, 2018, Págs 103-113 2018;9:103–13.
- 13 Moreno-Zambrano M, Grimbs S, Ullrich MS, Hütt MT. A mathematical model of cocoa bean fermentation. *R Soc Open Sci* 2018;5. <https://doi.org/10.1098/RSOS.180964>.
- 14 Gaibor IJ, Danilo TI, Biometrista M, Por A, Herminia : Dra, Área S, et al. Efecto del diseño de la caja y tipo de madera utilizada, en el proceso fermentativo del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*), cantón Las Naves, provincia de Bolívar 2010.
- 15 Alba Lechon JB, Quilo Catucumbamba JE. Aprovechamiento de residuos biomásicos de la mandarina (*Citrus reticulata*), en la obtención de aceites esenciales, para la elaboración de productos agroindustriales en la provincia Bolívar 2023.
- 16 Kouamé C, Loiseau G, Grabulos J, Boulanger R, Mestres C. Development of a model for the alcoholic fermentation of cocoa beans by a *Saccharomyces cerevisiae* strain. *Int J Food Microbiol* 2021;337. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2020.108917>.
- 17 Hernández-Hernández C, Fernández-Cabanás VM, Rodríguez-Gutiérrez G, Fernández-Prior Á, Morales-Sillero A. Rapid screening of unground cocoa beans based on their content of bioactive compounds by NIR spectroscopy. *Food Control* 2022;131:108347. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108347>.
- 18 James M, James CA, Dixon M, Leathers R. Coffee, Tea and Herbals, and Cocoa, Chocolate and Derived Products. *Encyclopedia of Food and Safety*, Elsevier; 2024, p. 159–75. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822521-9.00192-1>.

- 19 Cristina D, Chacón T. Efecto del uso de diferentes antiespumantes en la fermentación anaerobia de Mucilago de cacao CCN-51 en diversas concentraciones de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y su influencia en la producción de bioetanol 2019.
- 20 María A, Guzmán S. Modelación matemática de la temperatura durante la torrefacción del cacao (*Theobroma cacao* L.) en un tostador cilíndrico con fuente de gas y otro con fuente eléctrica. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica 2023.
- 21 Campoverde Nolivos KM. Modelación cinética de la fermentación alcohólica a partir de bebidas gaseosas caducadas. Tesis. Universidad Central del Ecuador, 2017.
- 22 Phukoetphim N, Salakkam A, Laopaiboon P, Laopaiboon L. Kinetic models for batch ethanol production from sweet sorghum juice under normal and high gravity fermentations: Logistic and modified Gompertz models. *J Biotechnol* 2017;243:69–75. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2016.12.012>.
- 23 Almeida LP. Avaliação da transferência de calor em fermentações alcoólicas convencional e extrativa 2019.
- 24 Delgado Noboa JW, Soler J, Peña JÁ. Optimización de la producción de bioetanol en procesos fermentativos del mucílago de Cacao CCN – 51 en un biorreactor tipo batch. *Jornada de Jóvenes Investigadores Del I3A* 2018;6. <https://doi.org/10.26754/jji-i3a.201802821>.
- 25 Ecuatoriano de Normalización I. NTE INEN 0176: Cacao en grano. Requisitos n.d.
- 26 Solórzano CYE, Franco KJB, García DAT, Escobar ÁOF, Navarrete YGT, Chang JFV. Efecto de la fermentación de cacao (*theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos* 2021;8:42–55. <https://doi.org/10.33789/TALENTOS.8.2.153>.

Received: 28 September 2023/ Accepted: 15 November 2023 / Published:15 December 2023

Citation: Garcia M E; Pazmiño Vallejo R A; Troya Carrera D B, Chávez J G Estudio de cinética de fermentación alcohólica de cacao en cajón tipo madera. *Revis Bionatura* 2023;8 (4)

6. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.04.6>

Publisher's Note: Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open-access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).